

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie (Direktor : Prof. Dr. H. Marx) der Klinik
und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN PYROSKOPISCHEN WIDERSTAND
VON EINBETTMASSEN

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, dem Fach-
bereich Medizin vorgelegt von

Reinhard Malchow
aus Hannover

Mainz ~~1983~~
1984



Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie (Direktor : Prof. Dr. H. Marx) der Klinik
und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN PYROSKOPISCHEN WIDERSTAND
VON EINBETTMASSEN

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, dem Fach-
bereich Medizin vorgelegt von

Reinhard Malchow
aus Hannover

Mainz 1983

Dekan : Prof. Dr.Dr. W. Ketterl

1. Gutachter : Prof. Dr. H. Marx

2. Gutachter : Prof. Dr. K. Fuhr

Tag der mündlichen Prüfung : 18.1.1984

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Problemstellung	4
3. Prüfverfahren	7
3.1 Die Methode des Segerkegelfallpunktes	7
3.2 Beschreibung des Ofens	11
3.2.1 Das Widerstandsmaterial	13
3.2.3 Montage des Ofens und der Einfahrvorrichtung	13
3.2.4 Der Betrieb des Ofens	13
3.3 Die Prüfkörperherstellung	14
3.3.1 Die Formgebung der Prüfkörper	14
3.3.2 Die Einteilung der Einbettmassen in Prüfgruppen	14
3.3.3 Die Herstellung der Prüfkörper gemäß Herstelleranweisung im Einzelnen	15
3.3.3.1 DOROVEST ^R	15
3.3.3.2 GRAY INVESTMENT ^R	15
3.3.3.3 NEO DUROTERM 7 ^R	16
3.3.3.4 DEGUVEST HFG ^R	16
3.3.3.5 BEGORAL ^R	16
3.3.3.6 COMPLETE ^R	16
3.3.3.7 HIGH-SPAN ^R	17
3.3.3.8 HERAVEST ^R	17
3.3.3.9 MULTIVEST ^R	17
3.3.3.10 VITALLIUM VR-Einbettmasse ^R	17
3.3.3.11 HARTEX ^R	18
3.3.3.12 NEO DUROTERM L ^R	18
3.3.3.13 DEGUVEST L ^R	18
3.3.3.14 L 36 ^R	18
3.4 Der Prüfvorgang	19

	Seite
3.4.1 Die Anordnung der Prüf- und Normkegel auf der Unterlagplatte	19
3.4.2 Die Feuerzonenüberprüfung	19
3.4.3 Die Fallpunktbestimmung der Prüfkegel	21
3.4.4 Die Auswertung der Versuche	23
4. Ergebnisse	23
4.1 Vorproben	23
4.2 Vorversuche	24
4.3 Hauptversuche	26
4.4 Das Verhalten der nicht bestimmbaren Einbettmassen	31
4.4.1 L 36 ^R der Firma HINRICHS	31
4.4.2 NEO DUROTERM L ^R der Firma BAYER/Leverkusen	31
4.4.3 GRAY INVESTMENT ^R der Firma RANSOM AND RANDOLPH	31
5. Diskussion der Ergebnisse	33
5.1 Unklarheit in der Definition der Feuerfestigkeit	33
5.2 Das Verhalten von Gipsbindemitteln bei der Erwärmung	34
5.3 Das Verhalten von Phosphatbindemitteln bei der Erwärmung	35
5.4 Das Verhalten von Silikatbindemitteln bei der Erwärmung	35
5.5 Thermisches Verhalten der Siliciumdioxidmodifikationen	36
5.5.1 Das Verhalten von Quarz bei der Erwärmung	36
5.5.2 Das Verhalten von Cristobalit bei der Erwärmung	37
5.6 Schlußfolgerungen	37
6. Anhang	41
8. Literaturverzeichnis	43



Digitized by the Internet Archive
in 2026

1. Einleitung

Der Begriff Einbettmasse galt zunächst, in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts, für die Löteinbettmassen und wurde dann um die Jahrhundertwende mit der Einführung des zahnärztlichen Gußverfahrens auch für die Stoffgemische, mit denen man die Wachsmodelle zur Gewinnung der Gußhohlform einbettete, gebräuchlich (1).

Einbettmassen sind Gemische aus feuerfesten Bestandteilen, Bindemitteln und Zusätzen.

Als feuerfeste Bestandteile enthalten die Einbettmassen die Siliciumdioxidmodifikationen Quarz, Cristobalit, bzw. Tridymit.

Als Bindemittel werden Gipse, Phosphate oder Silikate verwendet.

Gipse werden einerseits auf Grund der Tatsache, daß sie sich schon bei Temperaturen von 700°C zu zersetzen beginnen und andererseits, daß eine Tendenz zur Verwendung höherschmelzender Legierungen besteht, zunehmend weniger als Bindemittel eingesetzt.

Die auch in der Feuerfest-Industrie gebräuchlichen Phosphate haben nicht zuletzt wegen ihrer universellen Anwendbarkeit die weiteste Verbreitung gefunden.

Mit Silikat-Bindemitteln wird heute in der zahnärztlichen Technologie kaum noch gearbeitet, da die Verarbeitung kompliziert ist und Volumenänderungen im Sinne von Schwindungsvorgängen (1) auftreten können.



Zusätze in den Einbettmassen sollen die Abbindezeit verzögern oder beschleunigen, die Expansion steigern, als Reduktionsmittel dienen oder auch nur unangenehme Gerüche binden. Im allgemeinen sind Zusätze auf 2% der Einbettmassen beschränkt (1).

Bekannte Zusätze sind z.B. :

Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) als Abbindeverzögerer,

Natriumsulfat (Na_2SO_4) als Abbindebeschleuniger,

Natriumchlorid (NaCl),

Kaliumchlorid (KCl), und

Lithiumchlorid (LiCl) als Expansionssteigerer der thermischen Expansion,

Kohlenstoff (C) als Reduktionsmittel (1).

Die Hersteller von Einbettmassen machen keine genaueren Angaben über die qualitative und quantitative Zusammensetzung ihrer Produkte. Es ist daher angebracht, die etwas größere Informationsbereitschaft der Nordamerikaner zu nutzen und die die Einbettmassen betreffenden Angaben des "Dentist's Desk Reference" der American Dental Association, First Edition 1981 (2), hier zu erwähnen.

Danach enthalten gipsgebundenen Einbettmassen eine Mischung aus Quarz und Cristobalit und Calciumsulfat-Halbhydrat.

Phosphatgebundene Einbettmassen enthalten eine Mischung aus feinkörnigem Quarz und Cristobalit als feuerfeste Bestandteile und Magnesiumoxid sowie Monoammoniumphosphat als Ausgangsstoffe zur Bildung des Bindemittels Magnesiumphosphat, bzw. -pyrophosphat. Zusätzlich enthalten die phosphatgebundenen Einbettmassen in der von den Herstellern mitgelieferten Anmischflüssigkeit kolloidale Silikate, die durch Ausfällen und Kondensieren ein zweites Bindemittelsystem bilden.

Silikatgebundene Einbettmassen enthalten Quarz und in der Anmischflüssigkeit Äthylsilikat, das durch Alkalisieren zur Dehydrolyse und Kondensation gebracht wird und so das Bindemittelsystem bildet.

Löteinbettmassen enthalten Quarz und Cristobalit als feuerfeste Bestandteile und als Bindemittelsysteme Gips bzw. Phosphate.

Da an die Löteinbettmassen spezielle Anforderungen gestellt werden müssen, unterscheiden sich diese Massen von den Gußeinbettmassen. Die thermische Expansion soll der der zu verlötenden Metallteile entsprechen und der Lötblock soll rasch erhitzbar sein. Letzteres wird durch gröbere Körnung der feuerfesten Bestandteile erreicht.

2. Problemstellung

An der Feuerfestigkeit der Einbettmassen im allgemeinen sprachlichen Sinne und im Sinne des bestimmungsgemäßen Gebrauchs in der zahnärztlichen Technologie bestehen keine Zweifel. Feuerfestigkeit ist geradezu eine der Hauptforderungen, die an eine Einbettmasse zu stellen ist.

Geht man aber über den allgemeinen Sprachgebrauch und die praktischen Erfahrungen der zahnärztlichen Technologie hinaus, wie dies z.B. bei der Normierung oder der Warenklassifizierung von Zollltarifen der Fall ist, dann muß man sich der wissenschaftlichen Definition der Feuerfestigkeit und der in den DIN-Vorschriften festgelegten Prüfverfahren bedienen.

Die wissenschaftliche Definition der Feuerfestigkeit, auch pyroskopischer Widerstand genannt, soll durch folgende Zitate belegt werden :

RÖMPP, Chemie-Lexikon, 7. Auflage 1977, S. 1113 :
"Feuerfestmaterialien (feuerfeste Erzeugnisse), Sammelbegriff für nichtmetallische Werkstoffe (jedoch einschließlich solcher, die einen Anteil an Metall enthalten), die einen Segerkegelfallpunkt von mindestens 1500⁰C haben" (3).

ULLMANN, Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Auflage, Band 11, S. 549 :

"Unter feuerfesten Erzeugnissen versteht man vorwiegend grobkeramisch hergestellte, nichtmetallische Werkstoffe mit einer Feuerfestigkeit von mindestens 1500°C bestimmt nach der Methode des Segerkegelfallpunktes...." (4).

KIRK-OTHMER, Encyclopedia of Chemical Technology 2nd Ed. 1968, Vol. 17, S. 227 :

"There is no well-defined dividing line between refractories and nonrefractories; however most generally recognized refractories have softening temperatures well over 1500°C (2720°F)." (5).

Die angeführten Zitate sprechen auch schon die Methode der Messung des pyroskopischen Widerstandes an, die Methode des Segerkegelfallpunktes.

Das Prüfverfahren ist in der DIN-Norm 51 063 (6) (Bestimmung des Kegelfallpunktes mit kleinen Segerkegeln) festgelegt. In diese DIN-Norm ist die Empfehlung der International Organisation for Standardization ISO R 528 sachlich eingegangen.

Ausgehend von der Definition der Feuerfestigkeit als einem pyroskopischen Widerstand von 1500°C und unter Anwendung des in der DIN-Norm 51 063 festgelegten Prüfverfahrens soll diese Arbeit folgende Fragen beantworten :

1. Welchen pyroskopischen Widerstand haben eine Reihe der im Handel angebotenen zahnärztlichen Einbettmassen ?

2. Welchen Einfluß haben die Bindemittel auf den pyroskopischen Widerstand ?
3. Sind die erreichten Werte reproduzierbar ?

3. Das Prüfverfahren

3.1. Die Methode des Segerkegelfallpunktes

Die von H. SEGER entwickelten Normkegel werden seit 1886 in der keramischen Industrie zur Temperaturkontrolle verwendet.

Segerkegel sind dreiseitige abgestumpfte Pyramiden mit einer kürzeren, zur Grundfläche in einem Winkel von 82° stehenden Kante. Es gibt Segerkegel in zwei Größen :

1. Normalkegel mit einer Höhe von 60 mm, vornehmlich zur Fertigungsüberwachung in der keramischen Industrie.
2. Laborkegel = kleine Segerkegel mit einer Höhe von 31 mm zur Überwachung von Öfen und zur Prüfung der Feuerfestigkeit von Stoffen nach DIN 51 063 und ISO R 528.

Segerkegel werden aus keramischen Rohstoffen gefertigt, genauere Rezepturen gibt die Herstellerfirma, H. WELTE, Ing., GmbH und Co. nicht an.

Mit Segerkegeln wird nicht nur die Temperatur, sondern auch die im DIN-Blatt 51 063 vorgegebene zeitliche Temperaturführung gemessen.

Bei sachgemäßer Anwendung soll die Toleranz des Segerkegelfallpunktes geringer sein, als die normalen Meßfehler bei elektrischer Temperaturmessung.

Segerkegel werden so aufgestellt, daß ihre kurze Kante mit der Horizontalen einen Winkel von 82° bildet (Abb. 1).

Beim Erhitzen neigt sich der Kegel über die kurze Kante der Horizontalen, zu. Der Segerkegelfallpunkt ist erreicht, wenn die Spitze des Kegels die Horizontale eben berührt (Abb. 2).

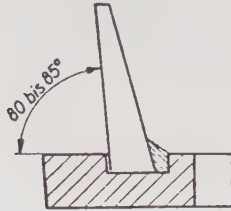


Abb. 1 Auf der Unterlagplatte befestigter Segerkegel oder Probekörper (6)



Abb. 2 Segerkegel beim Erreichen des Kegelfallpunktes (6)

Über den Fallpunkt kleiner Segerkegel, bei einer Temperatursteigerung von 150°C je Stunde, wie sie in der vorliegenden Arbeit angewendet wurde, gibt die Tabelle 1 Auskunft.

Ist ein Segerkegel regelrecht gefallen, d.h. er fiel in die richtige Richtung, 'blähte sich nicht auf, bekam keine raue Oberfläche und knickte nicht ein, so kann man davon ausgehen, daß die seinem Fallpunkt entsprechende Temperatur nach der im DIN-Blatt 51 063 empfohlenen Temperatursteigerung von 150°C pro Stunde im Ofen erreicht wurde.

Die miterhitzten Prüfkegel waren somit den gleichen definierten Bedingungen ausgesetzt.

Tabelle 1

Mittlere Fallpunkte (7) kleiner Segerkegel bei einer Temperatursteigerung von 150⁰C je Stunde

Segerkegel SK	Bezeichnung nach ISO	Fallpunkt bei ⁰ C
05 a	-	1010
04 a	-	1055
03 a	-	1070
02 a	-	1100
01 a	-	1125
1 a	-	1145
2 a	-	1165
3 a	-	1185
4 a	-	1220
5 a	-	1230
6 a	-	1260
7	-	1270
8	-	1295
9	-	1315
10	-	1330
11	-	1350
12	-	1375
13	-	1395
14	-	1410
15	-	1440
16	-	1470
17	150	1500
18	152	1520
19	154	1540
20	156	1560
26	158	1580
27	160	1600
27 1/2	162	1620
28	164	1640
29	166	1660
30	168	1680
31	170	1700
32 1/2	172	1720
33 1/2	174	1740
34	176	1760
35	178	1780
36	180	1800

3.2. Beschreibung des Ofens

Als Versuchsofen wurde ein Kohlegrießwiderstandsofen mit senkrechter Achse und von unten einfahrbarem Stempel verwendet (Abb. 3).

3.2.1. Der Aufbau des Ofens

Der Ofen bestand aus einem hochtemperaturbeständigem keramischen Innenrohr, einem feuerfesten unterteilten Außenrohr und einer zentral mit einer Bohrung zum Einfahren des Stempels versehenen Bodenplatte. Den oberen Abschluß bildeten zwei halbkreisförmige feuerfeste Platten, die, um Zugang zur Kohlegrießfüllung des Ofens zu haben, nur lose aufgelegt waren. Innenrohr, Außenrohr und Boden waren durch Stahlreifen gehalten und durch feuerfesten Mörtel miteinander verbunden.

Das Außenrohr des Ofens war für den Einlaß der aus zunderfreiem Stahl bestehenden Ringelektroden jeweils ca. 10 cm vom oberen und unteren Rand mit rechteckigen Öffnungen versehen. Je nach Ofenkonstruktion können die genannten Elektroden auch aus Kupfer oder Kohle bestehen.

Die Problematik liegt darin, daß bei vollem Ausfahren des Ofens auf maximal 1840⁰C auch außerhalb der eigentlichen Brennzone Temperaturen auftreten können, die die Schmelztemperatur der Elektroden erreichen oder gar übersteigen.

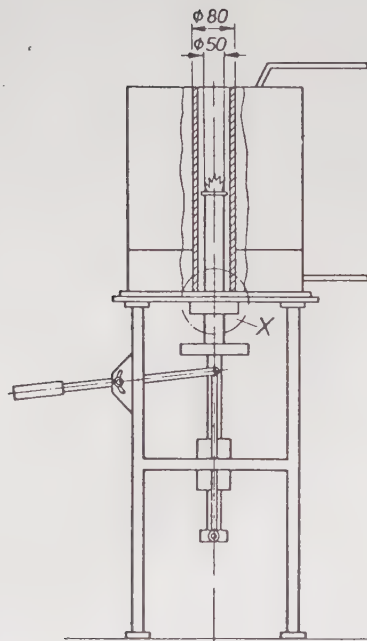


Abb. 3 Kohlegießofen (6)

2.2 Das Widerstandsmaterial

Der zwischen Innenrohr und Außenrohr des Ofens gebildete Raum, in dem die beiden Ringelektroden am oberen und unteren Ofenteil horizontal placiert waren, wurde mit Kohlegrieß als dem eigentlichen Widerstandsmaterial gefüllt. Kohlenstoff hat einen sehr hohen Schmelzpunkt von ca. 3550°C , den höchsten aller bekannten Elemente, und ist darum und weil er auch recht wirtschaftlich zu gewinnen ist, als Widerstandsmaterial sehr geeignet.

3.2.3 Montage des Ofens und der Einfahrvorrichtung

Der Ofen war auf einem Metallgestell montiert, von dem aus mittels eines Hebelarmes ein zentrisch gelagerter Stempel in das Innenrohr des Ofens eingeführt werden konnte. Die Abdichtung des einfahrbaren Stempels gegen das Ofeninnenrohr mit der Feuerzone erfolgte mit einem Anschlagring und zusätzlich durch eine Asbestschnur. Dem im Verlauf der Brennzeit zuweilen auftretenden Wandern der Feuerzone im Ofeninnenrohr wurde durch Einsatz hochfeuerfester zylindrischer Zusatzstempel Rechnung getragen.

3.2.4 Der Betrieb des Ofens

Die Energieversorgung und die zeitliche Temperatursteuerung des Kohlegrießwiderstandsofens erfolgten durch einen ferngeordneten 35 KVA-Abgreiftransformator, der aus Gründen der Herabsetzung seiner Betriebstemperatur außenluftgekühlt außerhalb des Ofenbetriebsraumes aufgestellt war.

3.3. Die Prüfkörperherstellung

3.3.1 Die Formgebung der Prüfkörper

Die Prüfkörper waren in Form und Dimension so zu gestalten, daß sie den Normkegeln, auch Laborkegel oder kleine Segerkegel genannt, voll entsprachen. Dies bedeutete, daß die Prüfkörper als dreiseitige Pyramiden mit einer kürzeren zur Grundfläche in einem Winkel von 80 bis 85° stehenden Kante hergestellt wurden. Die Höhe der Prüfkörper betrug 31 ± 2 mm, die Basiskantenlänge $9 \pm 0,5$ mm.

Zur Formgebung der Prüfkörper wurden die angeteigten Einbettmassen in eine 3-lagige verschraubte Plexiglasform, deren mittlere Lage unterteilt und zur Erlangung der Pyramidenform facettiert angeschliffen war, eingerüttelt. Nach dem Abbinden der Massen wurden die Prüfkörper der Form entnommen.

3.3.2 Die Einteilung der Einbettmassen in Prüfgruppen

Wie schon in der Einleitung dargestellt wurde, unterscheiden sich die im Handel angebotenen Einbettmassen weniger in ihren feuerfesten Bestandteilen als vielmehr in ihren Bindemitteln. So lag es nahe, Prüfgruppen zu bilden, die nach den Bindemitteln orientiert waren.

Die Gruppe 1 bestand aus den gipsgebundenen Einbettmassen DORVEST^R der Firma HERAEUS, GRAY INVESTMENT^R der Firma RANSOM u. RANDOLPH und NEO DUROTERM 7^R der Firma BAYER/Leverkusen.

Die Gruppe 2 bestand aus den phosphatgebundenen Einbettmassen DEGUVEST HFG^R der Firma DEGUSSA, BEGORAL^R der Firma BEGO, COMPLETE^R der Firma JELENKO, HIGH-SPAN^R der Firma JELENKO, und HERAVEST^R der Firma HERAEUS, sowie MULTIVEST^R der Firma RANSOM u. RANDOLPH.

Die Gruppe 3 bestand aus den silikatgebundenen Einbettmassen VITALLIUM VR^R-Einbettmasse der Firma HOWMEDICA und HARTEX^R der Firma KRUPP.

Die Gruppe 4 bestand aus den Löteinbettmassen NEO DUROTERM L^R der Firma BAYER AG, DEGUVEST L^R der Firma DEGUSSA, L 36^R der Firma HINRICHS.

3.3.3 Die Herstellung der Prüfkörper gemäß Herstelleranweisung im Einzelnen

3.3.3.1 DOROVEST^R

60 g DOROVEST-Pulver wurden mit 20 ml demineralisiertem Wasser zunächst manuell angespatelt und dann 45 s mit dem Magnetrührer unter Vakuum durchgemischt. Der plastische Teig wurde in die unter 3.2.1 beschriebene Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.2 GRAY INVESTMENT^R

50 g GRAY INVESTMENT^R-Pulver wurden mit 14 ml demineralisiertem Wasser manuell angespatelt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.3 NEO DUROTERM 7^R

32 g NEO DUROTERM 7^R-Pulver wurden mit 9 ml demineralisiertem Wasser manuell angespatelt, danach 30 s im Magnetrührer unter Vakuum angerührt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.4 DEGUVEST HFG^R

60 g DEGUVEST HFG^R-Pulver wurden mit 9 ml auf 75% mit demineralisiertem Wasser verdünnter DEGUVEST HFG-Anmischflüssigkeit zunächst manuell angespatelt, dann 60 s im Magnetrührer unter Vakuum angerührt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.5 BEGORAL^R

60g BEGORAL^R-Pulver wurden mit 10,5 ml auf 50% mit demineralisiertem Wasser verdünnter BEGORAL-Anmischflüssigkeit zunächst manuell angespatelt, dann 60 s im Magnetrührer unter Vakuum angerührt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.6 COMPLETE^R

150 g COMPLETE^R-Pulver wurden mit 26,5 ml COMPLETE-Anmischflüssigkeit zunächst manuell angespatelt, dann 60 s unter Vakuum im Magnetrührer durchmischt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.7 HIGH-SPAN^R

60 g HIGH-SPAN^R-Pulver wurden mit 10,5 ml auf 50% mit demineralisiertem Wasser verdünnter HIGH-SPAN-Anmischflüssigkeit manuell angespatelt; dann 60 s unter Vakuum im Magnetrührer durchmischt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.8 HERAVEST^R

180 g HERAVEST^R-Pulver wurden mit 31,5 ml auf 50% mit demineralisiertem Wasser verdünnter HERAVEST-Anmischflüssigkeit manuell angespatelt, dann 60 s unter Vakuum im Magnetrührer durchmischt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.9 MULTIVEST^R

50 g MULTIVEST^R-Pulver und 6 ml auf 50% mit demineralisiertem Wasser verdünnte MULTIVEST-Anmischflüssigkeit wurden 20 s lang manuell durchmischt und die plastische Masse in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.10 VITALLIUM VR-Einbettmasse^R

Binder und Binderverdünner wurden im Verhältnis 5:6 gemischt und ca. 12 Stunden im Kühlschrank aufbewahrt. Danach wurden 50 g VITALLIUM VR-Einbettmassen-Pulver mit 12 ml der gekühlten Anmischflüssigkeit 60 s im Magnetrührer angerührt. Die entstandene plastische Masse wurde in die Plexiglasform eingerüttelt und 20 min. lang vibriert. Danach wurde der Überschuss an der Form beschnitten.

3.3.3.11 HARTEX^R

Binderflüssigkeit 1 und Binderflüssigkeit 2 wurden im Verhältnis 9 : 1 durchmischt und ca. 12 Stunden im Kühlschrank aufbewahrt. Danach wurden 50 g HARTEX-Pulver mit 10 ml der gekühlten Anmischflüssigkeit manuell gut durchmischt und 20 min. lang in die Plexiglasform eingerüttelt. Der entstandene Überschuß an der Form wurde beschnitten.

3.3.3.12 NEO DUROTERM L^R

50 g NEO DUROTERM L^R-Pulver wurden mit 9 ml demineralisiertem Wasser manuell durchmischt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.13 DEGUVEST L^R

50 g DEGUVEST L^R-Pulver wurden mit 13,5 ml demineralisiertem Wasser manuell durchmischt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.3.3.14 L 36^R

43 g L 36^R-Pulver wurden mit 10 ml demineralisiertem Wasser manuell durchmischt und in die Plexiglasform eingerüttelt.

3.4 Der Prüfvorgang

3.4.1 Die Anordnung der Prüf- und Normkegel auf der Unterlagplatte

Die Unterlagplatte bestand aus vorgebranntem Korundmaterial, hatte einen Durchmesser von 70 mm, eine zentrale kreisförmige Bohrung von einem Durchmesser von 16 mm und sechs dreieckige Aussparungen zur Aufnahme der Prüf- und Normkegel (Abb. 4).

Zwei Prüfkegel aus der gleichen Einbettmasse wurden auf der Unterlagplatte einander gegenüberstehend mit neutralem hochfeuerfestem Mörtel etwa 2 mm tief eingekittet. Die kurze Kante der Prüfkegel war nach außen der Unterlagplatte zugeneigt und bildete mit ihr einen Winkel von rund 82° . In die verbleibenden 4 Aussparungen wurden jeweils rechts und links der Prüfkegel jene aufeinanderfolgenden Normkegel, zwischen deren Fallpunkt der Fallpunkt des Prüfkegels angenommen werden konnte, ebenfalls mit hochfeuerfestem Mörtel eingekittet.

3.4.2 Die Feuerzonenüberprüfung

Auf einer Korundunterlagplatte wurden 6 Segerkegel identischen Fallpunktes, und zwar die Normkegel SK 31, was ISO 170 und somit einem Fallpunkt von 1700°C entspricht, mit hochfeuerfestem Mörtel eingekittet, getrocknet, vorgewärmt und in den erhitzten Ofen eingefahren. Dem Kegelfallbild (Abb. 5) war zu entnehmen, daß die Temperaturverteilung in der Feuerzone gleichmäßig war.

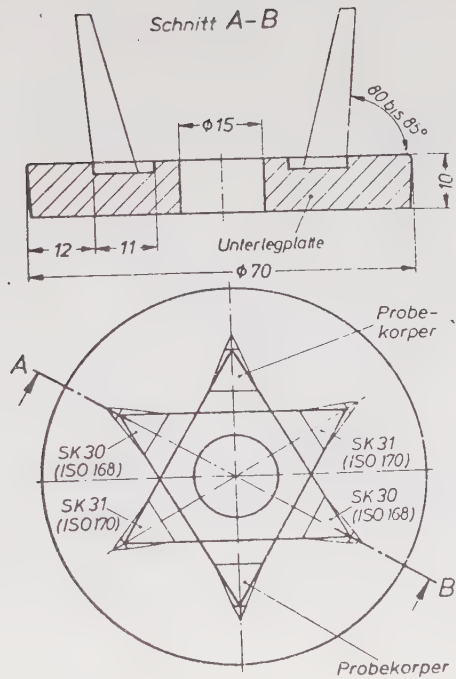


Abb. 4 Aufstellen der Probekörper und Segerkegel auf der Unterlagplatte (6)

3.4.3 Die Fallpunktbestimmung der Prüfkegel

Die auf der Korundunterlagplatte mit neutralem hochfeuerfestem Mörtel eingekitteten Prüf- und Segerkegel wurden getrocknet und vorgewärmt. Der Einfahrstempel wurde in seine tiefste Stellung, in der er den Brennraum des Ofens verläßt, gefahren. Dann wurde die vorgewärmte Unterlagplatte mit den Prüf- und Segerkegeln auf den Stempel gestellt und dieser langsam in den Ofen eingefahren. Nach allmählicher Erwärmung wurde dann von einer Temperatur von 200°C unterhalb des Fallpunktes die Temperatursteigerung auf 150°C je Stunde bis zum Kegelfallpunkt, der angenähert in Vorversuchen bestimmt war, durchgeführt. Diese Temperatursteigerung von 150°C je Stunde bzw. $2,5^{\circ}\text{C}$ je Minute schreibt das DIN-Blatt 51 063 vor.

Die Prüf- und Segerkegel wurden durch die obere Ofenöffnung unter Anwendung eines Kobalt-Strahlenschutzglases beobachtet. Sobald die Prüfkörper gefallen waren, wurde der Versuch beendet.



Abb. 5 Feuerzonenüberprüfung mit SK 31 = ISO 170
= 1700°C

3.4.4. Die Auswertung der Versuche

Die Prüf- und Segerkegel mußten im Versuch regelrecht gefallen sein. Dies bedeutete im Einzelnen :

1. Die Erhitzung mußte auf der gesamten Höhe gleichmäßig sein.
2. Die Kegel durften nicht aufgebläht sein.
3. Die Kegel durften nicht abgeknickt sein.
4. Die Kegeloberfläche durfte nicht aufgeraut sein.
5. Prüfkegel, die ein vom Versuchsprinzip der Fallpunktbestimmung abweichendes Verhalten zeigten, sollten nur deskriptiv bewertet werden.

Der Kegelfallpunkt des Prüfkegels wurde gekennzeichnet durch die Bezeichnung jenes Segerkegels, der seinem Fallpunkt nahekommt oder entspricht, z.B. ISO 178, bzw. durch die Bezeichnungen jener zwei Segerkegel, zwischen denen der Fallpunkt des Prüfkegels liegt, z.B. ISO 178/180.

4. Ergebnisse

4.1 Vorproben

Mit einem dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz zur Verfügung stehenden Vorwärmofen wurden Prüfkegel aller 14 an den Versuchen beteiligten Einbettmassen auf eine Temperatur von 1140°C erhitzt. Die Temperaturkontrolle erfolgte hier elektrisch über ein Platin-Iridium-Thermoelement. Die Genauigkeit der Anzeige war mit Segerkegeln SK 05a (Fallpunkt

bei 1010⁰C), SK 04a (Fallpunkt bei 1055⁰C), SK 02a (Fallpunkt bei 1100⁰C) und SK 1a (Fallpunkt bei 1145⁰C) überprüft worden.

Diese Vorproben ergaben, daß bei einer Temperatur von 1140⁰C keiner der Prüfkegel Zeichen der Erweichung zeigte.

4.2 Vorversuche

Die Vorversuche und die Hauptversuche wurden mit einem Kohlegießwiderstandsofen der im Abschnitt 3.2 beschriebenen Konstruktion und Betriebsart am DIDIER-Forschungs-Institut in Wiesbaden durchgeführt.

In den Vorversuchen sollten die angenäherten Kegelfallpunkte der an den Versuchen beteiligten Einbettmassen ermittelt werden. Wo dies nicht gelang, sollte zumindest ermittelt werden, bis zu welcher Temperatur diese Prüfkegel keine Erweichungserscheinungen zeigten, bzw. welches Verhalten sie jenseits dieser Temperatur zeigten.

Entsprechend der im Abschnitt 3.3.2 dargestellten Einteilung der Einbettmassengruppen wurden auf einer Korundunterlagplatte je ein gipsgebundener DOROVEST^R-, ein GRAY INVESTMENT^R- und ein NEO DUROTERM 7^R-Prüfkegel mit neutralem hochfeuerfestem Mörtel eingekittet.

Auf einer zweiten Korundunterlagplatte wurden von den phosphatgebundenen Einbettmassen je ein DEGUVEST HFG^R-, ein BEGORAL^R-, ein COMPLETE^R-, ein HIGH-SPAN^R-, ein HERAVEST^R- und ein MULTIVEST^R-Prüfkegel in gleicher Weise eingekittet.

Auf einer dritten Korundunterlagplatte wurden von der Gruppe der silikatgebundenen Einbettmassen je ein VITALLIUM VR^R-Einbettmasse- und ein HARTEX^R-Prüfkegel eingekittet.

Die vierte Korundunterlagplatte wurde mit den Prüfkegeln der Löteinbettmassen NEO DUROTERM L^R, DEGUVEST L^R und L 36^R bestückt.

Alle vier Korundunterlagplatten wurden nun mit Segerkegeln des Fallpunktes von mehr als 1140°C bestückt und nacheinander in den Ofen eingefahren. War der Segerkegel gefallen, die Prüfkörper zeigten aber noch keine Erweichungserscheinungen, so wurde die gleiche Unterlagplatte mit dem nächsthöheren Segerkegel bestückt und wieder erhitzt.

Diese Methodik wird bei Routinefeuerfestigkeitsbestimmungen angewandt.

Die Prüfkegel von DOROVEST^R und BEGORAL^R brachen beim wiederholten Erhitzen und Abkühlen spontan weg.

Da in dieser Arbeit nicht die Temperaturwechsel-Beständigkeit der Einbettmassen geprüft werden sollte, wurde die Methodik der Vorversuche dahingehend geändert, daß mit dem nächsthöheren Segerkegel auch neue, noch nicht erhitzte Prüfkegel eingekittet wurden.

Die Ergebnisse der Vorversuche sahen im Einzelnen so aus :

Der L 36^R-Prüfkegel zeigte beim Fallpunkt des Segerkegels SK 10 (Fallpunkt von 1330⁰C) atypisches Verhalten, auf das noch eingegangen wird und wurde aus den Vorversuchen herausgenommen.

Der NEO DUROTERM L^R-Prüfkegel zeigte beim Fallpunkt des Segerkegels SK 16 (1470⁰C) atypisches Verhalten, das noch näher beschrieben wird und wurde aus den Vorversuchen herausgenommen.

Der GRAY-INVESTMENT^R-Prüfkegel zeigte beim Fallpunkt des Normkegels ISO 166 atypisches Verhalten, das noch näher beschrieben wird und wurde aus den Vorversuchen herausgenommen.

Beim Fallpunkt des Segerkegels ISO 170 zeigten die Prüfkegel der Einbettmassen DOROVEST^R, NEO DUROTERM 7^R, DEGUVEST HFG^R, BEGORAL^R, COMPLETE^R, HIGH-SPAN^R, HERAVEST^R, VITALLIUM VR-Einbettmasse^R, HARTEX^R, MULTIVEST^R und DEGUVEST L^R keine Erweichungserscheinungen (Abb. 6).

Weitere Vorversuche mit Segerkegeln ISO 172 bis 178 ergaben die angenäherten Fallpunkte der obengenannten Prüfkegel, die dann in den Hauptversuchen im Einzelnen bestimmt wurden.

4.3. Hauptversuche

Wie in Abschnitt 3.4.1 beschrieben, wurden die Prüfkegel einander gegenüberstehend auf der Korundunterlagplatte eingekittet

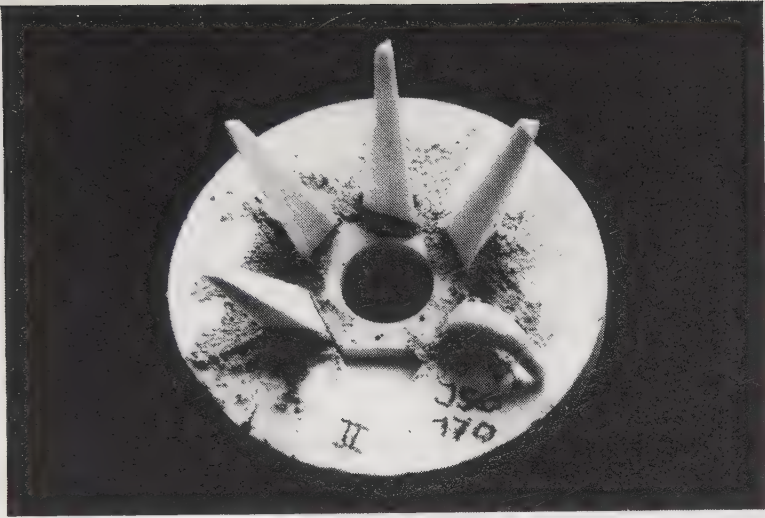


Abb. 6 im Uhrzeigersinn : HERAVEST

COMPLETE

BEGORAL

DEGUVEST HFG

gefallener Normkegel

ISO 170 = 1700°C

Flankiert wurden sie von den beiden Segerkegeln, zwischen denen der Fallpunkt des Prüfkegels nach den Vorversuchen zu erwarten war. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 zusammengefaßt dargestellt.

Die Prüfkörper aus NEO DUROTERM 7^R der Firma BAYER/Leverkusen fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 170/172.

Die Prüfkörper aus DOROVEST^R der Firma HERAEUS fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 174/176.

Die Prüfkörper aus DEGUVEST L^R der Firma DEGUSSA fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 174/176.

Die Prüfkörper aus HERAVEST^R der Firma HERAEUS fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 176/178.

Die Prüfkörper aus BEGORAL^R der Firma BEGO, Bremen, fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 176/178.

Die Prüfkörper aus DEGUVEST HFG^R der Firma DEGUSSA fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 176/178.

Die Prüfkörper aus COMPLETE^R der Firma JELENKO fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 176/178.

Die Prüfkörper aus HARTEX^R der Firma KRUPP/Essen fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 176/178.

Die Prüfkörper aus VITALLIUM VR-Einbettmasse^R der Firma HOWMEDICA fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 176/178.

Die Prüfkörper aus MULTIVEST^R der Firma RANSOM and RANDOLPH fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 178/180.

Die Prüfkörper aus HIGH-SPAN^R der Firma JELENKO fielen regelrecht zwischen den Segerkegeln ISO 178/180.

Tab. 2

EINBETTMASSE	SEGERKEGELFALLPUNKT
NEO DUROTERM 7 ^R der Fa. BAYER/Leverkusen	ISO 170/172
DOROVEST ^R der Fa. HERAEUS	" 174/176
DEGUVEST L ^R der Fa. DEGUSSA	" 174/176
HERAVEST ^R der Fa. HERAEUS	" 176/178
BEGORAL ^R der Firma BEGO/Bremen	" 176/178
DEGUVEST HFG ^R der Fa. DEGUSSA	" 176/178
COMPLETE ^R der Fa. JELENKO	" 176/178
HARTEX ^R der Fa. KRUPP/Essen	" 176/178
VITALLIUM VR-Einbettmasse ^R der Fa. HOWMEDICA	" 176/178
MULTIVEST ^R der Fa. RANSOM and RANDOLPH	" 178/180
HIGH-SPAN ^R der Fa. JELENKO	" 178/180

4.4 Das Verhalten der nicht bestimmbaren Einbettmassen

4.4.1 L 36^R der Firma HINRICHS

Diese Löteinbettmasse zeigte erste Erweichungserscheinungen bei dem Fallpunkt des Segerkegels SK 7 (1270⁰C). Bei weiterer Temperatursteigerung dünnte die Prüfkegelspitze zunächst aus und trieb dann beim Fallpunkt des Segerkegels SK 10 (1330⁰C) blasig auf (Abb. 7).

4.4.2 NEO DUROTERM L^R der Firma BAYER/Leverkusen

Diese Löteinbettmasse zeigte Erweichungserscheinungen bei dem Fallpunkt des Segerkegels SK 14 (1410⁰C). Bei weiterer Temperatursteigerung trieb dann der Prüfkegel beim Fallpunkt des Segerkegels SK 16 (1470⁰C) blasig auf.

4.4.3 GRAY-INVESTMENT^R der Firma RANSOM and RANDOLPH

Diese gipsgebundene Einbettmasse zeigte Erweichungserscheinungen beim Fallpunkt des Segerkegels ISO 164 (1640⁰C), trieb dann bei 1660⁰C in der Prüfkegelmitte blasig auf und brach dort spontan weg.



Abb. 7 An der Spitze blasig aufgetriebener Prüfkegel L 36^R
bei regelrecht gefallenem Normkegel SK 10 = 1330°C

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1. Unklarheit der Definition der Feuerfestigkeit

Es ist zu bedauern, daß es bezüglich der Definition der Feuerfestigkeit bei näherer Betrachtung keine einheitliche Auffassung gibt.

Wenn z.B., wie in Abschnitt 2. zitiert, KIRK-OTHMER von Feuerfestigkeit bei Erweichungstemperaturen von über 1500°C spricht, ULLMANN von Werkstoffen mit einer Feuerfestigkeit von mindestens 1500°C , bestimmt nach der Methode des Segerkegelfallpunktes, und RÖMPP Werkstoffe als feuerfest gelten läßt, die einen Segerkegelfallpunkt von mindestens 1500°C haben, dann sieht dies nur auf den ersten Blick einheitlich aus.

Denkt man sich aber eine Prüfmasse, die erste Erweichungserscheinungen bei 1420°C zeigt und deren Segerkegelfallpunkt bei 1500°C liegt, dann ist diese Prüfmasse nach KIRK-OTHMER nicht feuerfest, nach RÖMPP ist sie feuerfest und nach ULLMANN könnte sie feuerfest sein.

Es soll hiermit ein Anstoß zu einer Vereinheitlichungsdiskussion gegeben werden, wobei die Definition der Feuerfestigkeit, die Erweichungserscheinungen der Prüfmassen bis zur Temperatur von 1500°C ausschließt, am eindeutigsten erscheint.

5.2 Das Verhalten von Gipsbindemitteln bei der Erwärmung

Gips kommt in der Natur als Calciumsulfat-Dihydrat vor, die chemische Formel lautet $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

Bei der technischen Aufbereitung wird durch Erwärmen dieses Hydrats das Halbhydrat $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ gebildet. In dieser Form liegt das gebrauchsfertige Gipspulver vor, welches unter Zugabe von Wasser wieder zu verfilzten Gipskristallen abbindet.

Bei Erwärmen auf 200°C entweicht das Kristallwasser und beim weiteren Erwärmen auf über 200°C wird ein Teil des Calciumsulfats zu Calciumoxid (CaO), Schwefeloxid (SO_2) und Sauerstoff aufgespalten (8).

Die Zusammensetzung des natürlich vorkommenden Gipses ist je nach der geologischen Lagerstätte hinsichtlich der Beimengungen sehr unterschiedlich und so werden auch die physikalischen Eigenschaften unterschiedlich angegeben. In GMELIN'S Handbuch der Anorganischen Chemie wird z.B. von einem "angeblichen" Schmelzpunkt von CaSO_4 bei 1570°K , was 1841°C entspricht, berichtet.

Dieser Wert ist mit Sicherheit verfälscht durch die Wirkung des entstandenen Calciumoxids, welches einen Schmelzpunkt von 2587°C hat (9).

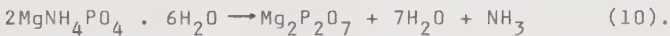
In Anwesenheit von Quarz reagiert das bei der thermischen Zersetzung von Gips entstandene Calciumoxid mit der Bildung von Calcium-Silikaten, deren Schmelzpunkte zwischen $1500 - 1600^\circ\text{C}$ liegen.

5.3 Das Verhalten von Phosphatbindemitteln bei der Erwärmung

Als Bindemittel wird bei den phosphatgebundenen Einbettmassen das beim Anteigen aus Monoammoniumphosphat mit Magnesiumoxid unter Zugabe von Wasser entstehende Magnesiumammoniumphosphat verwendet. Die chemische Reaktion ist folgendermaßen zu formulieren :



Beim Erwärmen gibt die abgebundene Einbettmasse zwischen 230°C und 270°C das Kristallwasser ab. Beim weiteren Erwärmen bis 330°C wird dann die Orthophosphatform in die Pyrophosphatform umgewandelt :



Das Magnesiumpyrophosphat hat einen Schmelzpunkt von 1383°C und zerfällt bei sehr hohen Temperaturen, z.B. im Kohlelichtbogen unter Bildung von Magnesiumoxid (Schmelzpunkt 2800°C).

5.4 Das Verhalten von Silikatbindemitteln bei der Erwärmung

Als Silikatbindemittel wird organisches Äthylsilikat verwendet. Durch Alkalisieren, was hier durch die dem Pulver beige-mengten Magnesiumspuren geschieht, wird die Dehydrolyse der freigesetzten Kieselsäure und ihre Kondensationsreaktion zu gelartigem $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ bewirkt. Beim Erwärmen wird das Wasser ausgetrieben und es entsteht ein glasartiger Verbund.

5.5 Thermisches Verhalten der Siliziumdioxidmodifikationen Quarz und Cristobalit

5.5.1 Das Verhalten von Quarz bei der Erwärmung

Quarz ist das in der Natur am weitesten verbreitete Mineral. Die chemische Formel lautet SiO_2 . Bei der in den Versuchen maximal erreichten Temperatur von 1800°C kommt es beim Quarz nicht zu chemischen Umwandlungen des Siliziumdioxids. Hingegen treten eine Reihe von kristallinen Modifikationen auf, die hier kurz skizziert werden sollen. Der in der Natur auftretende Tiefquarz, auch als α -Quarz (11) bezeichnet, vergrößert bei der Erwärmung auf 573°C sein Volumen um 0,8% (12), eine Erscheinung, die man sich bei der thermischen Expansion von Einbettmassen zunutze macht, und geht in den Hochquarz, auch β -Quarz genannt, über. Bei Temperaturen von über 1400°C beginnt der Quarz an Grenz- und Oberflächen zu schmelzen (12). Bei den geringen Korngrößen, wie sie in Einbettmassen vorliegen, sind diese Grenz- bzw. Oberflächen naturgemäß sehr groß. Die Schmelzgeschwindigkeit ist allerdings sehr gering, sie beträgt bei 1550°C 0,03 $\mu\text{m}/\text{min}$, bei 1750°C 6 $\mu\text{m}/\text{min}$. Tempert man Quarz längere Zeit bei Temperaturen oberhalb von 1200°C , so modifiziert er sich unter Volumenerhöhung um 17,4% irreversibel zum Cristobalit (12 und 13).

5.5.2 Das Verhalten von Cristobalit bei der Erwärmung

Cristobalit ist eine Modifikation des Siliziumdioxids, die sich vom Quarz durch ein niedrigeres spezifisches Gewicht (13), hervorgerufen durch einen größeren intramolekularen Winkel der beiden Sauerstoffatome zum Siliziumatom, unterscheidet.

Die Tieftemperaturform des in der Natur selten vorkommenden α -Cristobalits geht beim Erwärmen über 200°C unter einer Volumenerhöhung von mehr als 2% in die β -Cristobalit-Modifikation über (13). Auch diese Volumenerhöhung macht man sich als thermische Expansion bei den Einbettmassen zunutze. Der Schmelzpunkt des Cristobalits liegt bei $1713 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Unterkühlt man die Cristobalitschmelze, so entsteht Kieselglas.

5.6 Schlußfolgerungen

Die erste Frage der Problemstellung, welchen pyroskopischen Widerstand eine Reihe der im Handel angebotenen zahnärztlichen Einbettmassen haben, kann folgendermaßen beantwortet werden :

Alle geprüften Gußeinbettmassen sind feuerfest im Sinne der DIN, sie haben einen pyroskopischen Widerstand, der bei den silicat- und phosphatgebundenen Massen um 1780°C liegt und bei den gipsgebundenen Massen von 1660°C bis 1750°C reicht. Von den geprüften Löteinbettmassen ist nur eine, und zwar DEGUVEST L, feuerfest, sie hat einen pyroskopischen Widerstand von 1750°C .

Zur zweiten Frage der Problemstellung, welchen Einfluß die Bindemittel auf den pyroskopischen Widerstand haben, ist zu sagen :

Die in Kapitel 4.3 dargestellten Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß Bindemittel den pyroskopischen Widerstand von Einbettmassen beeinflussen.

Gipsgebundene Einbettmassen haben durchweg einen niedrigeren pyroskopischen Widerstand als phosphat- bzw. silikatgebundene Massen.

Nicht unwesentlich scheinen aber auch Zusätze, z.B. Abbindebeschleuniger wie Kaliumsulfat und Abbindeverzögerer wie Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) oder Kaliumcitrat das pyroskopische Verhalten gipsgebundener Einbettmassen zu beeinflussen.

Auch die "natürlichen" Zusätze des Gipses, je nach seiner geologischen Provenienz, sind wohl mit die Ursache für den weiten Streubereich der Kegelfallpunkte und das teilweise atypische Verhalten bei der Fallpunktbestimmung der Massen dieser Gruppe. Verglichen mit der Gruppe der gipsgebundenen Einbettmassen zeigen die Gruppen der phosphat- und silikatgebundenen Massen ein recht homogenes Bild. Der Streubereich der Kegelfallpunkte geht hier nicht über einen anzunehmenden Meßfehlerbereich von 20°C hinaus. Den hochfeuerfesten Bereich von über 1800°C (14) erreicht allerdings keine der hier geprüften Massen. Das ist auch nicht möglich, da die feuerfesten Bestandteile der Einbettmassen aller Gruppen, Quarz und Cristobalit mit ihren Schmelzpunkten bei ca. 1470°C bzw. 1723°C liegen.

Die Unterkühlung der Siliciumdioxid-Schmelze führt zur Entstehung von Kieselglas (13), einer weiteren Siliciumdioxid-modifikation. In den Versuchen zu dieser Arbeit bestand die Unterkühlung der Siliciumdioxid-Schmelze im Temperaturwechsel der auf fast 1800°C im Kohlegrießwiderstandsofen erhitzten Prüfkegel auf Raumtemperatur. Daß die Umwandlung in der oben beschriebenen Form stattgefunden hat, belegen die im Anhang dieser Arbeit beschriebenen röntgendiffraktometrischen Untersuchungen.

Die dritte Frage der Problemstellung, ob die erreichten Werte reproduzierbar sind, kann bejaht werden. Nicht nur die gemäß der DIN-Vorschrift 51 063 vorgenommenen Doppelbestimmungen, sondern auch die Ergebnisse der Vorversuche lassen die Bejahung dieser Frage zu.

6. Zusammenfassung

Es wurde der pyroskopische Widerstand von drei gipsgebundenen (DOROVEST^R, GRAY INVESTMENT^R und NEO DUROTERM 7^R), sechs phosphatgebundenen (DEGUVEST HFG^R, BEGORAL^R, COMPLETE^R, HIGH SPAN^R, HERAVEST^R und MULTIVEST^R), zwei silikatgebundenen (VITALLIUM VR^R und HARTEX^R) und drei Löteinbettmassen (L 36^R, NEO DUROTERM L^R und DEGUVEST L^R) nach der Methode des Segerkegelfallpunktes untersucht.

Das Ergebnis zeigt, daß die gipsgebundenen Einbettmassen einen geringeren pyroskopischen Widerstand haben als die phosphat- bzw. silikatgebundenen. Dennoch sind sie feuerfest im Sinne der DIN 51060.

Alle untersuchten phosphat- bzw. silikatgebundenen Einbettmassen sind bei einem pyroskopischen Widerstand von 1770⁰C bis 1790⁰C feuerfest, ja sie erreichen fast den Hochfeuerfestbereich, der bei 1800⁰C beginnt (14).

Die untersuchten Löteinbettmassen sind mit Ausnahme von DEGUVEST L der Firma DEGUSSA nicht feuerfest im Sinne der wissenschaftlichen Definition der Feuerfestigkeit, sie haben einen pyroskopischen Widerstand von weniger als 1500⁰C. DEGUVEST L allein hat einen pyroskopischen Widerstand von 1750⁰C und ist damit als feuerfest zu bezeichnen.

Für den bestimmungsgemäßen Gebrauch der Einbettmassen in der zahnärztlichen Technologie werden die bei den Untersuchungen erreichten Temperaturen nicht benötigt.

7. Anhang

Die von den Herstellern geübte Zurückhaltung in Bezug auf Informationen über die Zusammensetzung ihrer Produkte bewog den Autor, das freundliche Angebot des DIDIER-Forschungsinstituts in Wiesbaden, exemplarisch eine Einbettmasse röntgendiffraktometrisch zu untersuchen, mit Dank anzunehmen. Untersucht wurden das unangeteigte Pulver, die abgebundene Einbettmasse und die bis zum Kegelfallpunkt von 1770°C erhitzte Einbettmasse COMPLETE^R der amerikanischen Fa. JELENKO. Diese Untersuchungen ergaben für das unangeteigte Pulver eine Zusammensetzung aus α -Quarz, α -Cristobalit, Magnesiumoxid und Ammoniumdihydrogenphosphat $(\text{NH}_4) \text{H}_2 \text{PO}_4$ (s. Abb. 8). Die mit der Anmischflüssigkeit angeteigte und dann abgebundene Masse enthält α -Quarz, α -Cristobalit, Magnesiumoxid, $\text{NH}_4 \text{Mg} (\text{PO}_3)_3$ und $(\text{NH}_4)_3 \text{H}_2 \text{P}_3 \text{O}_{10}$. Die beiden letzten Substanzen sind Zwischenprodukte auf dem Wege zum Magnesiumpyrophosphat (s. Abb. 9). Die auf ca. 1770°C erhitzte und dann abgekühlte abgebundene Einbettmasse enthält neben Glas als Hauptbestandteil nur noch geringe Mengen von α -Quarz und α -Cristobalit sowie $\text{Mg}_3 (\text{PO}_4)_2$ (s. Abb. 10).

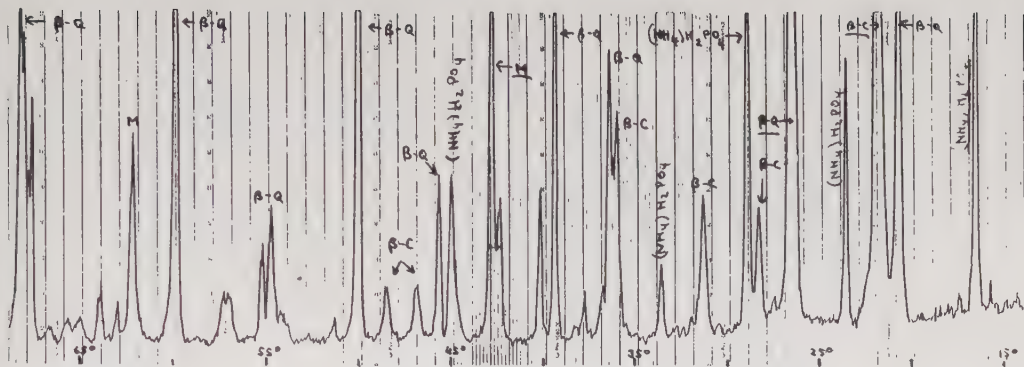


Abb. 8 Röntgenbeugungsanalyse der unangeteigten Masse COMPLETE R

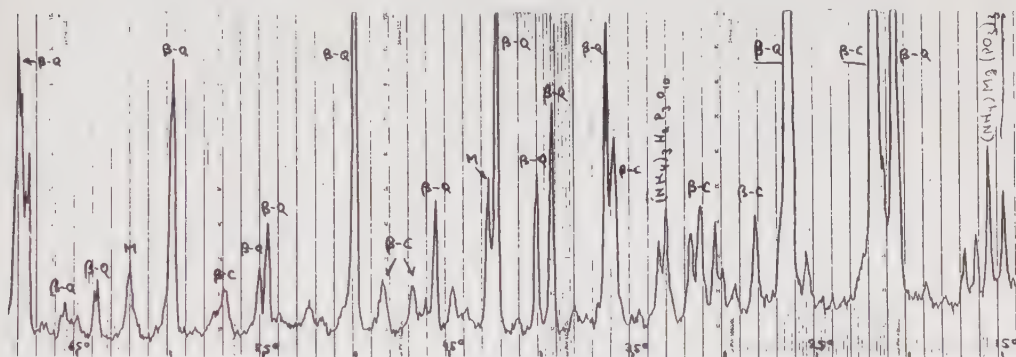


Abb. 9 Röntgenbeugungsanalyse der abgebrannten Masse COMPLETE R

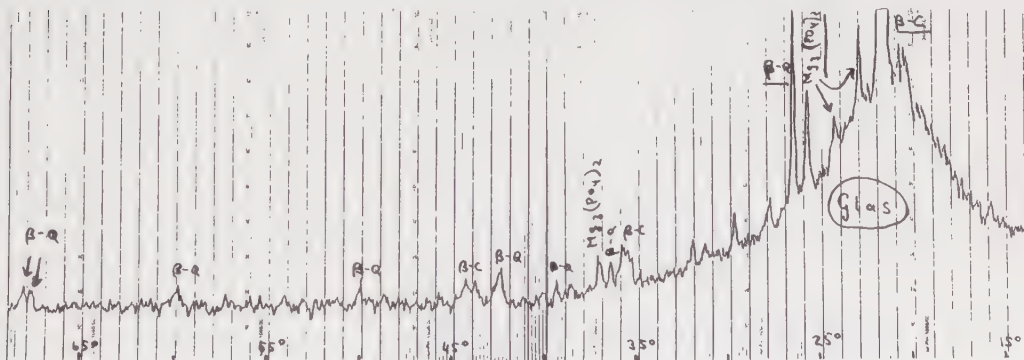


Abb. 10 Röntgenbeugungsanalyse der auf 1770°C bei der Prüfung erhitzten Einbettmasse COMPLETE R

4. LITERATURÜBERSICHT

1. EICHNER, K. : Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Bd. 1
Dr. A. Hüthig Verlag Heidelberg
1981, S. 29 ff.
2. ADA : Dentist's Desk Reference
First Edition, 1981 Chikago
3. RÖMPP, H. : Chemie-Lexikon, Franckl-Verlag
Stuttgart, 7. Aufl. 1977
4. ULLMANN, F. : Enzyklopädie der technischen Chemie
Bd. 11, 4. Aufl. Verlag Chemie
Weinheim, 1972
5. KIRK-OTHMER, R., u. D. : Encyclopedia of Chemical Technology
Vol. 17, 2nd Edition 1968
6. DEUTSCHE NORMEN : Prüfung keramischer Roh- und Werkstoffe Segerkegel (SK)
Bestimmung des Kegelfallpunktes mit kleinen Segerkegeln, DIN 51 063
Beuth-Vertrieb Berlin 30 - Köln
7. WELTE, H. Ing.GmbH & Co : Firmenmitteilung. Der Segerkegel,
Definition und Wirkungsweise
8. HOLLEMANN A., WIBERG, E. : Lehrbuch der Anorganischen Chemie
81. - 90. Aufl. 1976
9. GMELIN, L. : Handbuch der Anorganischen Chemie
System Nr. 28, Calcium, Teil B
8. Aufl. 1961

10. BEGO, Bremer Goldschlä- : Firmenmitteilung
gerei, W. Herbst Wissenswertes über die Einbettmas-
se WIROVEST^R
11. BETECHTIN, A.G. : Lehrbuch der speziellen Mineralo-
gie
VEB Deutscher Verlag für Grund-
stoffindustrie Leipzig, 7. Aufl.
1977, 320 f.f.
12. SALMANG - SCHOLZE : Die physikalischen und chemischen
Grundlagen der Keramik
Springer Verlag, 5. Aufl. 1968
13. HARDERS, F. u.Kienow, S. : Feuerfestkunde
Springer Verlag, 1960
14. DEUTSCHE NORMEN : Feuerfeste keramische Roh- und
51 060 Werkstoffe. Begriffe feuerfest und
hochfeuerfest.

Lebenslauf

Am 22.10.1938 wurde ich als Sohn der Dorothea Malchow in Hannover geboren. Meine Kindheit erlebte ich in der Familie meines Onkels Wilhelm Malchow und seiner Frau Hilde.

1945 wurde ich, damals vom Berliner Wohnsitz der Familie nach Böhmen evakuiert, eingeschult.

Nach Kriegsende nach Berlin zurückgekehrt, wurde die Familie meines Onkels im Rahmen der Umsiedlung einer Gruppe von Wissenschaftlern und Ingenieuren in die Sowjetunion verbracht. Dort besuchte ich eine speziell für die Kinder dieser Deutschen bei Moskau eingerichtete Schule.

1951 wurden wir in die DDR entlassen.

Von 1951 bis 1953 besuchte ich in Ostberlin die Grundschule, anschließend die Oberschule, in der ich 1957 in Berlin-Baumschulenweg das Abitur bestand. Einen Studienplatz bekam ich nicht, so daß ich in Wartestellung als Praktikant in einem volkseigenen Betrieb und nebenberuflich als wissenschaftlich-technischer Übersetzer arbeitete.

1960 übersiedelte ich nach Westberlin, bestand 1961 die Anerkennungsprüfung der Reifeprüfung und begann ein Medizinstudium, zunächst in Berlin, dann in Saarbrücken/Homburg, das ich 1964 ohne Abschluß beendete.

Danach arbeitete ich bis 1979 in der Pharmazeutischen Industrie.

Im WS 1978/79 begann ich, zunächst parallel zu dieser Tätigkeit, das Studium der Zahnmedizin in Mainz, legte 1983 das Staatsexamen ab und erhielt die Approbation als Zahnarzt.

Zum Abschluß möchte ich allen danken, die diese Arbeit möglich gemacht bzw. sie unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Marx für die Überlassung des Themas, dessen Bearbeitung sich in der vorliegenden Arbeit zwar recht nüchtern liest, dessen juristischer und wirtschaftlicher Hintergrund mir aber Ansporn und Verpflichtung waren.

Herrn Prof. Dr. K. Fuhr danke ich für die freundliche Übernahme des zweiten Gutachtens.

Frau Dr. rer.nat. A. Schäfer möchte ich für ihre konstruktiv-kritische Betreuung in allen Phasen dieser Arbeit danken.

Die untersuchten Einbettmassen wurden von den Firmen ALMADENT, BAYER, BEGO, DEGUSSA, HERAEUS, HOWMEDICA, KRUPP und RANSOM and RANDOLPH zur Verfügung gestellt.

Herzlich zu danken habe ich dem DIDIER-Forschungs-Institut in Wiesbaden für das Zurverfügungstellen des Kohlegrießwiderstandsofens und die Ausführung der Röntgenbeugungsanalyse.

